

# 虹吸溢水道之設計

## (Design of Siphon Spillway)

吳耀煌

(一)前言：台灣地形陡峻，渠道從水源取水後每沿山坡而行。洪水期間因山水傾入渠內，渠水激增，致使渠道受害甚巨。往昔設計為於渠道中設置側溢道 (Side Spillway) 排洩多餘洪水量，是為溢流式排洩，惟此型排洩弊點，即溢流水頭有限 (因渠道斷面受限制)，單位寬度流量甚小，欲排洩大量洪水必使側溢道之寬度增大，結果工程費昂貴又非理想。

今日辦法，為於可取得較大水頭之處，都以虹吸溢水道 (Siphon Spillway) 代之，蓋因渠道經過山坡時山下排水道位置較低，用此構造物即可用其全部水頭以排洩洪水，可增加單位寬之流量而減少構造物之寬度。換言之，即為達同一之目的而工程費可較省，故最近水利局於台東縣鹿野大圳工程、雲林縣斗六六大圳工程、花蓮縣吉安大圳工程、新竹縣大同農場青埔子分場灌溉工程、桃園縣崙頂墾區灌溉工程建造虹吸溢水道，其中已完成有鹿野大圳工程及斗六六大圳工程，其他現仍在建造中。

綜合虹吸溢水道之優點可概述如下：

(1) 可利用全部水頭，於虹吸作用開始之際，即時排出洪水。

(2) 虹吸管理設於地而下，不易受損。

(3) 與同目的構造物比較，較小較簡，可節省工程費。

(二) 設計條件：虹吸溢水道各部構造之理論，設計要領及設計步驟於第一圖詳細說明，下面僅述及設計中應考慮之條件。

(1) 水位：在渠道設置虹吸溢水道，其入口計劃水位應為該渠道之計劃水位。洪水期渠道水位上昇，先由溢流頂 (Crest) 溢流，溢流水進至缺口位置，離開管壁而發生水脈，當渠道水位繼續上昇至某一高度時 (通常設計以溢流頂水深為  $\frac{1}{2}$  × 喉道高度時)，水脈才接觸對面管壁，而虹吸作用開始。虹吸溢水道以最大洪水量為其容量，即虹吸溢水道流量常大于洪水量，故虹吸作用後之入口水位不再上昇，所以虹吸作用開始時之水位為虹吸溢水

道入口之最高水位。虹吸溢水道出口之水位依出口情形而異。若出口設有導水路導入於排水道時，其出口水位應為排水道之洪水期最高水位加上導水路之水面降落。

(2) 虹吸溢水道容量：如前所述，渠道沿山坡而行，洪水期往往位於虹吸溢水道下游之渠道，因山崩而堵塞，水流不洩，或於虹吸溢水道下游設有制水門，而不及開放時，渠道全部流量必須由虹吸溢水道排洩，因此虹吸溢水量之容量，通常取渠道之計劃流量與流入渠內山水之全部。虹吸溢水道之水頭，雖可儘量取大，但其容量不得超過渦流最大流量。

(3) 氣壓：渦流最大流量依各地之大氣壓力而不同，大氣壓力與地面標高之關係如下：

地面標高	大氣壓水柱高	地面標高	大氣壓水柱高
0 m	10.33 m	540 m	9.70 m
30	10.30	630	9.58
110	10.20	720	9.50
200	10.10	810	9.38
280	10.00	900	9.29
370	9.90	990	9.17
450	9.79	1.030	9.09

(4) 水脈：水脈與虹吸作用之關係，如前所述，欲求虹吸作用之確實性，必須求出正確之水脈曲線。假定水脈開始點 (缺口位置) 為原點 O，向水平垂直方向各取 X 及 Y 軸，即

$$X = V \cdot \cos\phi \cdot t \dots\dots\dots ①$$

$$Y = V \cdot \sin\phi \cdot t + \frac{1}{2} y t^2 \dots\dots\dots ②$$

由①式得

$$t = \frac{X}{V \cdot \cos\phi} \dots\dots\dots ③$$

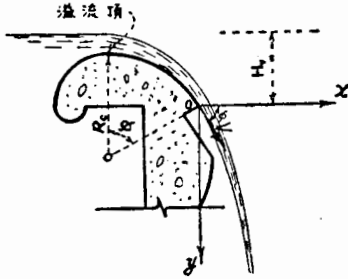
③式代入②式

$$Y = x \cdot \tan\phi + \frac{1}{2} g \left( \frac{x}{\sqrt{V \cos\phi}} \right)^2 \dots\dots\dots ④$$

$$\text{因 } V = \sqrt{2gH_v} \dots\dots\dots ⑤$$

⑤式代入④式得

$$Y = x \cdot \tan\phi + \frac{1}{2} g \left( \frac{x}{\sqrt{2gH_v \cos\phi}} \right)^2 = x \cdot \tan\phi + \frac{x^2}{4H_v \cos^2\phi} \dots\dots\dots ⑥$$



由⑥式可求得水脈曲線 X, Y 之關係。

如溢流頂水深為  $\frac{D}{3}$  (喉道高度之  $\frac{1}{3}$ )， $\phi = 60^\circ$  即

$$H_v = \frac{D}{3} + Rc(1 - \cos\phi) = \frac{D}{3} + \frac{1}{2} Rc \dots\dots\dots ⑦$$

(5) 結構設計：因為虹吸管內會發生真空，管道結構必能抵抗全部外來大氣壓力及其他荷重(土壓及地面載重)。

(三) 設計實例：(花蓮縣吉安圳第二支線虹吸溢水道)。

設計條件：虹吸溢水道容量  $Q = 13.10 \text{ m}^3/\text{s}$  (計劃流量  $2.2 \text{ m}^3/\text{s}$  洪水量  $10.9 \text{ m}^3/\text{s}$ )，渠道計劃水位  $E1.92.70 \text{ m}$ ，虹吸管出口水位  $E1.91.06 \text{ m}$ 。

設計：

(1) 決定溢流頂 (Crest) 標高為  $E1.92.70 \text{ m}$

(2) 有效水頭  $H = 92.70 - 91.06 = 1.64 \text{ m}$

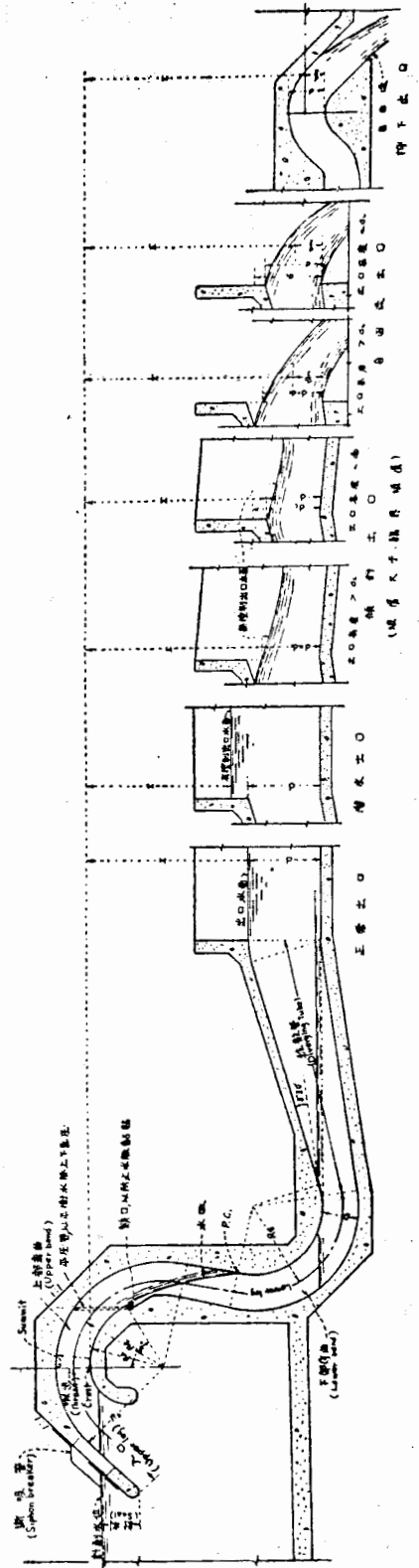
(3) 假定  $D = 0.60 \text{ m}$ ； $R_{OL} = 1.5D = 0.90 \text{ m}$  本設計中，由於落差較小， $D$  取最小值  $0.60 \text{ m}$ ， $R_{OL}$  亦無法取  $2.5D$ 。該地標高為  $92.70 \text{ m}$ ，其大氣壓力水柱高約  $10.20 \text{ m}$ 。  $R_c = R_{OL} - \frac{D}{2} = 0.60 \text{ m}$ ； $R_s =$

$R_{OL} + \frac{D}{2} = 1.20 \text{ m}$ ，即渦流最大流量為

$$q = R_{OL} \sqrt{0.7h(2g)} \text{ Loge} \frac{R_s}{R_c} = 0.60$$

$$\sqrt{0.7 \times 10.20 \times 19.6} \text{ Loge} \frac{1.20}{0.60}$$

(下轉 139 頁)



低水頭虹吸溢水道設計概要 (參看137頁縱斷面圖)

A 設計數據  $q = CD\sqrt{2gH} \leq R_c\sqrt{0.7h(2g)} \times \log_e \frac{R_s}{R_o}$  = (渦流最大流量)

- $q$  = 單位頂寬之流量 c.m.s./m
- $R_o$  = 喉部溢流頂曲率半徑 m (crest)
- $R_s$  = 喉部拱頂曲率半徑 m (Summit)
- D = 喉部高度 m
- d = 出口水深 m
- h = 相當於該地大氣壓之水柱高 m
- H = 有效水頭 (視出口形狀而定) m
- C = 流量係數 (依  $\frac{d}{D}$  及  $\frac{R_{CL}}{D}$  而定)
- g = 重力加速度 9.8m/sec<sup>2</sup>

B 各部設計

各部名稱	設 計 要 點	理 由	備 註
入 口	設一段良好之漸變，使斷面積逐漸縮減。入口斷面積必須有喉部斷面積之 2~3 倍。	給予加速度，減少流入損失。	上圖入口損失為 0.2h <sub>v</sub> 。
喉 部	喉部尺寸依容量而定，最好採用寬與高之比為 2。D <sub>1</sub> 除鐵製模型外，不得小於 60cm。R <sub>CL</sub> /D=2.5 最佳。	減少彎曲損失。	較大寬度與較小高度可縮短開始作用時間。
上部彎曲	最好採用 R <sub>CL</sub> /D=2.5。曝氣缺口位置與喉頂成 60°。平壓管設於側壁內以連接缺口與拱頂。	減少彎曲損失。缺口防止水脈黏於喉頂。平壓管可確保水脈形狀。	喉部上下部彎曲，斷面一律相等。
下部彎曲	P. C. 設於水脈接觸點。P. C. 點為喉頂水位在所欲開始作用之水位時，所生水脈軌跡上一點。最好採用 R <sub>CL</sub> /D=2.5 彎曲部上版之最下端，必須與出口之底同一標高。	封閉及排出上部彎曲之空氣。封閉下部彎曲及確保部份真空之發生。	
擴 散 管	出口終點設於所欲標高。由 8°30' 之擴散角，決定擴散管長度。出口終點之管高約(1.5~2.0) D 為適當。	逐漸擴大斷面，增加流量。	上圖擴散損失為 0.2h <sub>v</sub> 。
斷 吸 管	設於喉道拱頂，設置管入口平於計劃水位或稍低 斷面積=喉道斷面積÷24。因斷吸管突出虹吸管頂，易受損壞，常用箱型鐵板製“活動式斷吸管”(Adjustable Air Vent) 代替。	慢慢斷絕虹吸作用，以防止激烈震動。	實用上使用可調節入口高度之斷吸管為佳。
入口封水	入口潛入水中應有相當深度，以防止入口水面降低。	防止空氣之“Gulping”保持正常斷吸作用。	

附註：據實驗結果，上述設計要點可使損失為最小。若設計數值超出上示要點者損失將增大。結構設計時必須能抵抗外來大氣壓力及其他荷重。

C 設計步驟

1. 決定喉頂 (crest) 標高 (渠道計劃水位 + 所欲餘高)。
2. 決定有效水頭 (喉頂標高一出口水面標高)。
3. 假定 D 及 R<sub>CL</sub> 值，用渦流公式。  
 $q = R_o\sqrt{0.7h(2g)} \log_e \frac{R_s}{R_o}$  求得最大 q 值。(D 之最小值 60cm R<sub>CL</sub>/D=2.5)。
4. 選擇 d 及 H 值，由流量係數圖查得 C 值。由公式  $q = C\sqrt{2gH}$  求得實際流量 q 值。(所得 q 值不得大于第 (3) 項所得 q 值)。
5. 求喉頂所需寬度  $\frac{Q}{q}$ 。由總排水量 Q，選定喉頂寬度及虹吸管數目，並求該寬度時之單位寬流量 q。
6. 若第 (4) 項所得 q 值大于第 (3) 項所得 q 值，應反覆第 (3) (4) 項，至  $q = CD\sqrt{2gH} \leq R_o\sqrt{0.7h(2g)} \log_e \frac{R_s}{R_o}$  為止。
7. 由渠道所欲開始作用時之水面標高，決定喉頂開始作用水頭，該水頭以  $\frac{D}{3}$  為宜。

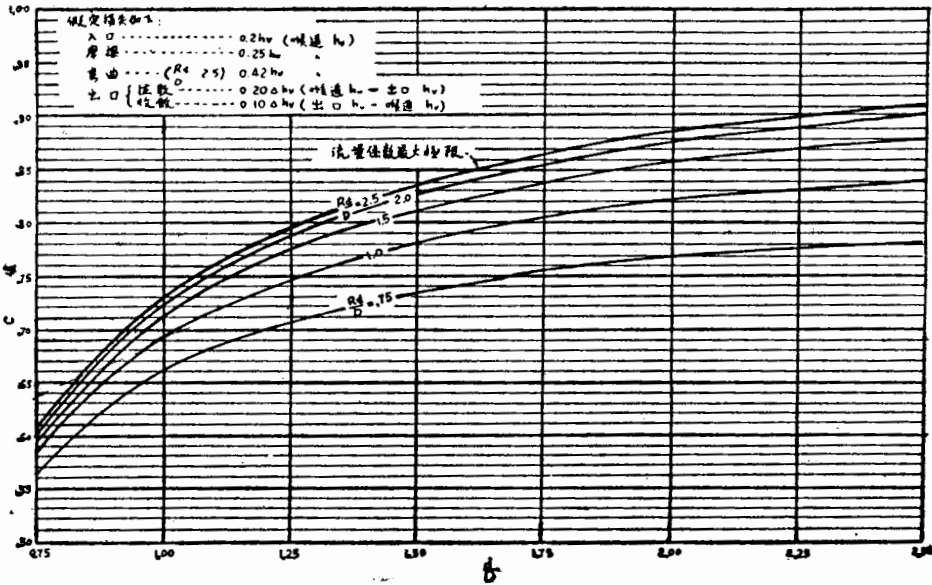
8. 決定斷吸管之尺寸及其入口標高。

水脈黏貼喉頂，設置平壓管以平衡水脈上下氣壓)

9. 選擇並決定各部份尺寸 (設置缺口以防止

### 虹吸溢水道流量係數

$$q = CD\sqrt{2gh} \text{ 式中 } C \text{ 為流量係數}$$



(上接 137 頁)

$$= 0.60 \times 11.9 \times 2.303 \times 0.301 = 4.95 \text{ m}^3/\text{s}$$

(7) 求水脈曲線，假定溢流頂水深為  $\frac{D}{3}$  時發生虹吸作用。

$$\left[ \text{Loge} N = \frac{1}{\text{Log}_{10} e} \times \text{Log}_{10} N = 2.303 \times \text{Log}_{10} N \right]$$

$$y = x \tan \phi + \phi \frac{x^2}{4H_v \cos^2 \phi} ;$$

(4) 假定  $d = 1.00 \text{ m}$ ;  $H = 1.64 \text{ m}$  即

$$\text{式中 } \phi = 60^\circ ; H_v = \frac{D}{3} + \frac{R_0}{2} = \frac{0.60}{3} + \frac{0.60}{2} = 0.50 \text{ m} ; \tan \phi = 1.732 ; \cos^2 \phi = \frac{1}{4} ; \text{即}$$

$$\frac{d}{D} = \frac{1.00}{0.60} = 1.67 ; \frac{R_{0f}}{D} = 1.5$$

$$y = 1.732 x + \frac{x^2}{0.50}$$

由流量係數圖查得  $C = 0.827$

$$q = CD\sqrt{2gH} = 0.827 \times 0.60 \sqrt{19.6 \times 16.4} = 2.82 \text{ m}^3/\text{s}$$

(5) 求喉頂所須寬度  $L$

$$L = \frac{Q}{q} = \frac{13.10}{2.82} = 4.65 \text{ m}$$

決定用寬度為  $1.20 \text{ m}$  (高度之二倍)，虹吸溢水道四門，共寬  $4.80 \text{ m}$ 。

(6)  $q = cD\sqrt{2gH} = 2.82 \text{ m}^3/\text{s} < 4.95 \text{ m}^3/\text{s}$

$$= R_0 \sqrt{0.7h(2g)} \text{Loge} \frac{R_s}{R_0}$$

(1)	(2)	(3)	(4)
x	1.732x	x <sup>2</sup> /0.50	$\frac{y}{(3)+(4)}$
0.10	0.173	0.020	0.193
0.20	0.346	0.080	0.426
0.30	0.520	0.180	0.700
0.40	0.693	0.320	1.013
0.50	0.866	0.500	1.366
0.60	1.039	0.720	1.759
0.70	1.212	0.980	2.192

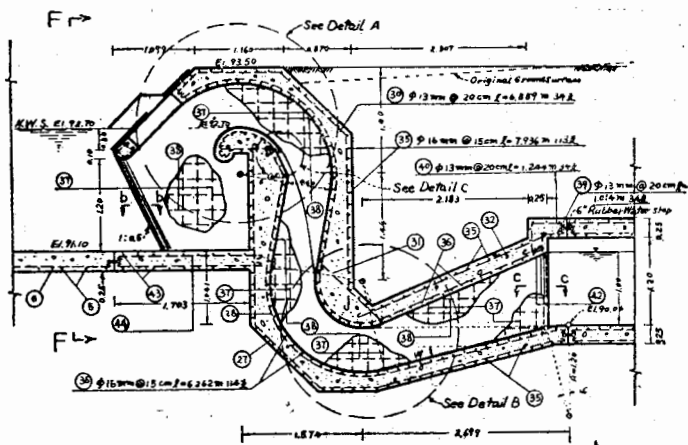
此水脈曲線；如果設置虹吸管直立部份為垂直，即不與對面管壁接觸，故把虹吸管直立部份向上游傾斜 10°，即 P. C. 點位置在水脈接觸點稍下，虹吸作用可發生。

(8) 斷吸管決定用箱型鐵板製活動式斷吸管

。其尺寸如設計圖。

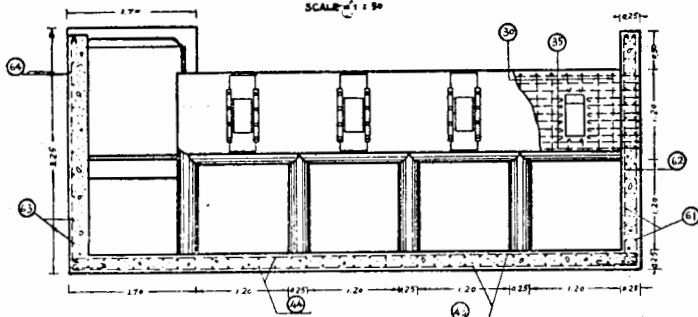
(9) 平壓管用  $\phi 38\text{mm}$  鋼管，平壓管端與虹吸管壁齊平，缺口附有角鋼，以防止沖刷。

(後言：本文惠蒙水利局楊建業、吳東源兩工程師指導 謹此致謝。)



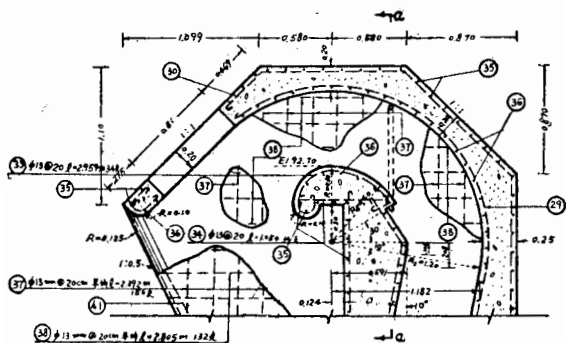
SECTION H-H

SCALE = 1:50



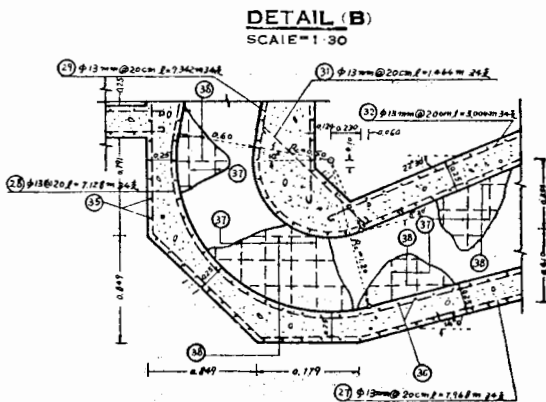
SECTION F-F

SCALE = 1:50



DETAIL (A)

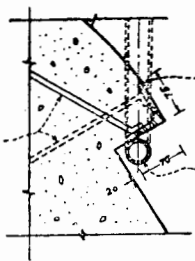
SCALE = 1:30



DETAIL (B)

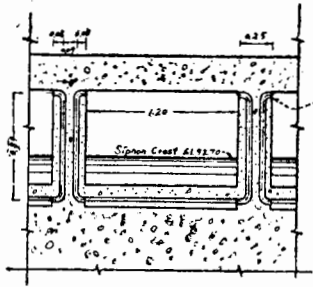
SCALE = 1:30

25x6x300 strap anchors. Weld to angle on 30 cmtrs staggered



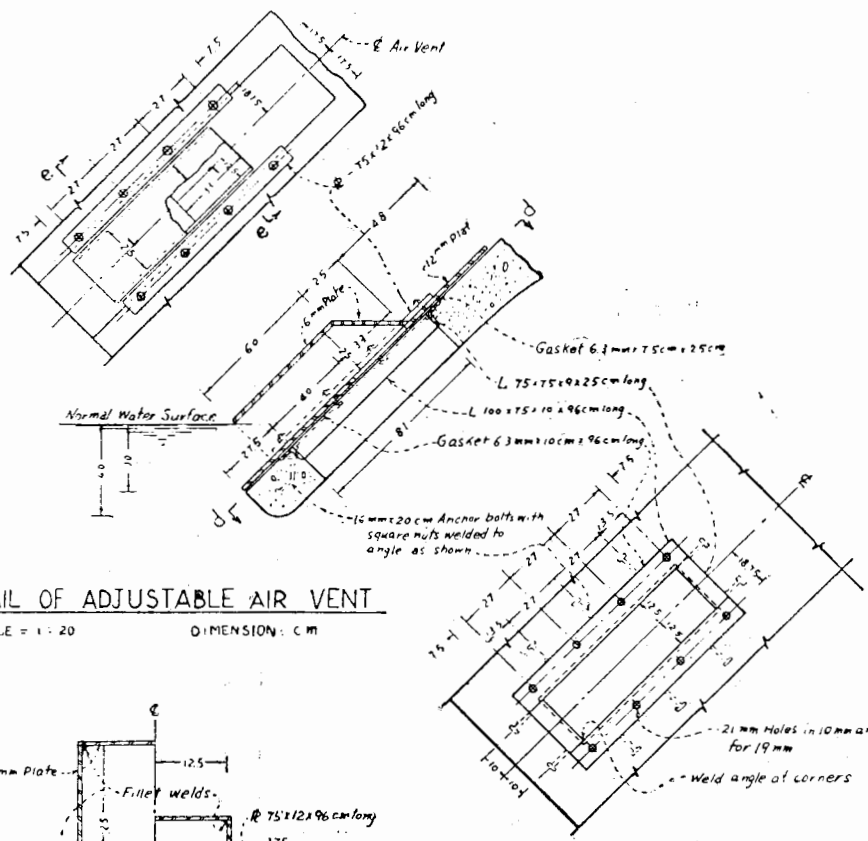
75x75x9 angle, 1.25m long  
38mm std. steel pipe, 1.00m long  
2 required for each siphon. Set each

Detail c  
Scale=1:6  
Dimension: mm.

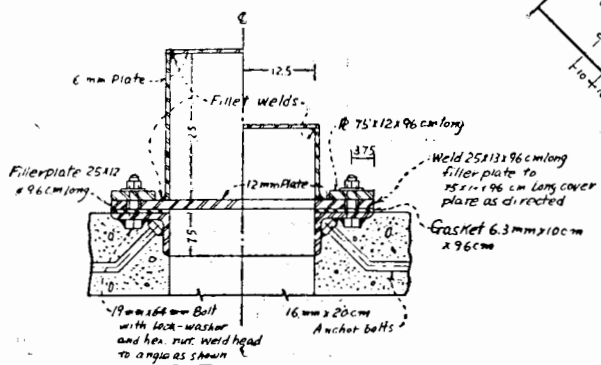


38mm std. steel pipe, 1.00m long, set each end flush with wall

Section a-a  
scale=1:30



**DETAIL OF ADJUSTABLE AIR VENT**  
SCALE = 1:20 DIMENSION: CM



**SECTION e-e**  
SCALE = 1:8